



Sistemas de piso com revestimento cerâmico: avaliação da resistência a cargas verticais concentradas

Jéssica Machado Medeiro (1), Jorge Henrique Piva (2), Elaine Guglielmi Pavei Antunes (3)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) jessica_medeirom@hotmail.com, (2) jhpiva@gmail.com, (3) elainegpa@unesc.net

Resumo: Os revestimentos cerâmicos para pavimentação apresentam crescente utilização em razão de suas características e propriedades vantajosas quando comparados a outros sistemas de revestimento. Contudo, o desempenho adequado desse tipo de revestimento está associado a uma correta especificação da placa cerâmica ao seu local de uso. As manifestações patológicas oriundas de um revestimento cerâmico incapaz de resistir as solicitações impostas, são frequentemente destacadas. A propriedade usualmente aplicada para a classificação das placas cerâmicas é a absorção de água, uma vez que mantém relação direta com as características mecânicas da peça. O objetivo desse estudo é avaliar a resistência de sistemas de piso, com revestimento cerâmico, a solicitações verticais. Os sistemas de piso foram compostos por 4 categorias de placas cerâmicas. Para cada tipologia, foram produzidas 3 amostras de piso, obtendo-se, no total, 12 sistemas e todos eles foram instrumentados com extensômetros. Os protótipos foram submetidos a cargas verticais de compressão até o surgimento visível de fissuras na superfície do revestimento cerâmico e as cargas de ruptura foram reportadas mediante análise das deformações desses. Os resultados indicaram que a classe de absorção de água das placas cerâmicas tem potencial balizador quanto a resistência dos sistemas, uma vez que, o sistema composto com placas cerâmicas que apresentam menor absorção de água apresentou a maior resistência a ruptura. Verificou-se que o módulo de resistência à flexão da placa cerâmica de um sistema correlaciona-se com o valor da carga suportada por ele e que a posição de aplicação da carga não interfere na capacidade de carga dos sistemas.

Palavras-chave: sistema de revestimento; placas cerâmicas; carga de ruptura.

Floor systems with ceramic coating: assessment of resistance to concentrated vertical loads

Abstract: Ceramic floor coverings are increasingly used because of their characteristics and advantageous properties when compared to other flooring systems. However, the proper performance of this type of coating is associated with a correct specification of the ceramic plate at its place of use. Pathological manifestations from a ceramic coating that can not withstand the imposed demands are often highlighted. The property usually applied for the classification of ceramic tiles is the absorption of water, since it maintains direct relation with the mechanical characteristics of the piece. The objective of this study is to evaluate the resistance of floor systems, with ceramic coating, to vertical loads. The floor systems were

composed of 4 categories of ceramic tiles. For each typology, 3 floor samples were produced, obtaining a total of 12 systems and all of them were instrumented with extensometers. The prototypes were subjected to vertical compression loads until the visible appearance of cracks in the surface of the ceramic coating and the burst loads were reported by analyzing the deformations of these. The results indicated that the water absorption class of the ceramic plates has a potential for bending in the resistance of the systems, since the composite system with ceramic plates with lower water absorption showed the higher resistance to rupture. It has been found that the flexural modulus of the ceramic plate of a system correlates with the value of the load supported by it and that the position of application of the load does not interfere with the loading capacity of the systems.

Key-words: coating system; ceramic tiles; failure load.

Introdução

O revestimento do piso de uma edificação é o elemento de contato direto com o usuário e, portanto, está constantemente submetido a solicitações, sejam elas, estáticas ou dinâmicas (MARTINS, 2012). Por conseguinte, o sistema de revestimento de piso deve desempenhar a função de absorver essas solicitações, garantindo a qualidade das propriedades mecânicas e estéticas, sem que o seu funcionamento, em relação ao uso pretendido, seja comprometido (TERJÉK; JÓZSA, 2015). Existe uma vasta gama de materiais para pavimentos disponíveis no mercado e para que o revestimento seja capaz de cumprir as exigências intrínsecas a sua utilização, a conformidade do uso deve ser levada em conta (FARIA, 2018).

Os revestimentos cerâmicos são materiais empregados na construção civil em revestimento de piso (VAZ, 2013). Para Rhod (2011), a justificativa desse fato está relacionada às características e propriedades, como resistência mecânica, segurança contra o fogo, estanqueidade à água e aos gases, durabilidade e eficiência proporcionados por esse segmento. Conforme Silvestre e de Brito (2011), a cerâmica tem uma longa história como revestimento interno e externo, principalmente devido à sua versatilidade em termos de cor, dimensão e textura.

A riqueza de fontes de matéria prima da cerâmica, a argila, impulsionou o avanço da indústria brasileira de revestimentos cerâmicos (SILVA et al., 2015). A industrialização do setor e a incorporação de tecnologias de fabricação de placas cerâmicas propiciou a produção em larga escala tornando, assim, o produto acessível ao orçamento dos consumidores. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de revestimentos cerâmicos e o segundo maior consumidor do segmento, sendo a China que domina o primeiro lugar nas duas categorias. Os principais

polos industriais do setor de revestimentos cerâmicos no Brasil estão localizados nas regiões Sudeste e Sul, constituídos por 92 empresas, e são para o país amplos geradores de empregos, com vastos postos de trabalho diretos e indiretos em toda sua cadeia produtiva (ANFACER, 2018).

De modo geral, os sistemas de revestimento cerâmico de piso são compostos por elementos distintos e dispostos em camadas interdependentes (UCHÔA et al., 2016). Segundo a NBR 13753:1996, as camadas do sistema são definidas como base, contrapiso, argamassa colante, placa cerâmica e argamassa de rejuntamento. Por tratar-se de um conjunto monolítico de camadas, quando uma dessas camadas sofre deformação, causada por esforços externos ou por origem endógena, todo o sistema de revestimento cerâmico fica sujeito a tensões (UCHÔA et al., 2016). Para Fiorito (2009), essas tensões são dependentes das características físicas e mecânicas de cada camada.

As inúmeras vantagens atribuídas ao uso de placas cerâmicas como revestimento, são dependentes de diversos fatores para serem garantidas. Para Rebelo (2010), a qualidade e a durabilidade de uma superfície com revestimento cerâmico estão fundamentadas diretamente a qualificação do material e da execução do assentamento, manutenção preventiva e, principalmente, a escolha da placa cerâmica de acordo com uso a qual será destinada. As propriedades do material determinam características próprias que são fundamentais para correta especificação (CACCIA, 2012).

A absorção de água é um fator amplamente utilizado na classificação das placas cerâmicas e influencia diretamente nas propriedades da peça. A porosidade de um corpo cerâmico está relacionada à absorção de água e quanto menor for o valor desta, maior será sua resistência mecânica (FONSECA et al., 2015). As manifestações patológicas, ligadas a uma escolha inadequada da placa cerâmica ao local de uso, são identificadas frequentemente. As fissuras, deslocamentos, quebra dos cantos ou das superfícies da placa podem ser resultados de um carregamento excessivo, ao qual o sistema de piso é exposto, com cargas maiores que a resistência mecânica da placa pode suportar.

Tendo em vista que as placas cerâmicas são a interface visível do desempenho do sistema de revestimento, este trabalho tem por objetivo avaliar a resistência de sistemas de pisos com revestimento cerâmico a cargas verticais concentradas.

Materiais e Métodos

O estudo foi desenvolvido, conforme apresentado no fluxograma da Figura 1, em cinco etapas. A primeira etapa refere-se ao estudo bibliográfico de revestimentos de piso com placas cerâmicas. A segunda etapa consiste na definição e caracterização dos componentes do sistema de revestimento do piso. Em seguida, foram executados os protótipos de sistema de piso com os elementos definidos na etapa anterior, subdividido em quatro sistemas. O quarto passo, define-se pela realização do ensaio de compressão das amostras, através da aplicação de uma carga vertical concentrada, e leitura das respectivas deformações provocadas no sistema de revestimento. E por último, fez-se a avaliação e análise dos resultados.

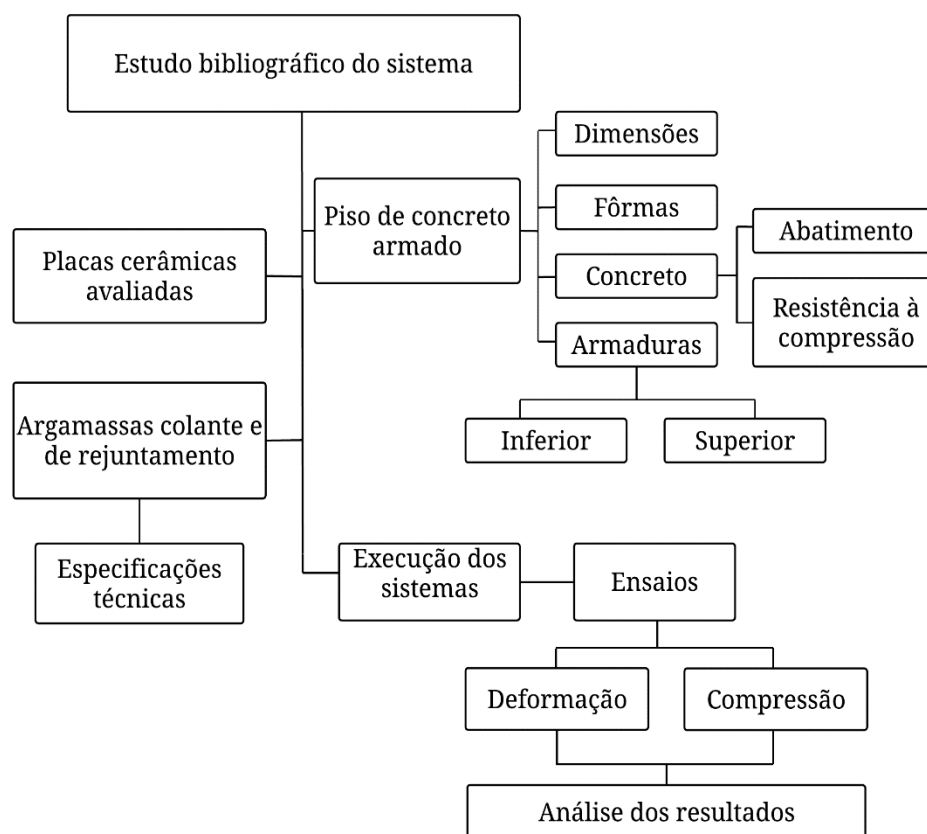


Figura 1. Fluxograma de atividades.

As lajes, para simulação do piso, foram executadas em fôrmas de madeira de Pínus, nas dimensões de 120 x 120 x 10 cm e concretadas com concreto de 25 MPa, dosado em central. Para controle tecnológico do concreto, realizou-se, com o concreto fresco, o ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump test*), para caracterização da consistência e trabalhabilidade, seguindo instruções da NBR NM 67:1998. Foram moldados 12 corpos de prova cilíndricos nos quais foram rompidos aos 170 dias, simultaneamente ao ensaio de resistência à compressão dos sistemas de revestimentos de piso, a fim de conhecer a resistência

do concreto no momento do ensaio de compressão do sistema de piso. Os procedimentos de moldagem, cura e estocagem dos corpos de prova seguiram as determinações da NBR 5738:2015. O ensaio de resistência à compressão seguiu as orientações da NBR 5739:2018 e foi efetuado por meio de uma prensa hidráulica da marca EMIC, modelo PC200CS, cuja leitura dos resultados do ensaio foi realizada pelo software TESC - Test Script.

Foi utilizada armadura de aço CA-50 para as partes superior e inferior das lajes. Para ambas, foram confeccionadas malhas quadradas de aço com espaçamento entre as barras de 15 cm. Na malha superior, adotou-se 16 barras de 6,3 mm de diâmetro e 16 barras de 8,0 mm na malha inferior, totalizando 8 barras em cada direção. Em todas as barras de aço, foram executados ganchos de ancoragem com 5 cm. O cobrimento nominal das barras de aço adotado foi de 2 cm, correspondente à classe de agressividade ambiental I, conforme prescrito pela NBR 6118:2014.

Para o assentamento das placas cerâmicas, utilizou-se argamassa colante cimentícia, classificada como ACIII, segundo a NBR 14081-1:2012. As propriedades e características da argamassa colante, especificadas pelo fabricante, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações técnicas da argamassa colante (Fonte: Do Fabricante)

Classificação Normativa (NBR 14081)	Fator água/argamassa (mL Kg ⁻¹)	Tempo em Aberto (min)
AC III	300	20

O rejuntamento foi executado com rejunte cimentício, resinado, siliconado, antimoho, de acabamento superfino e industrializado do Tipo II, conforme NBR 14992:2003. As propriedades e características da argamassa de rejuntamento, são apresentadas na Tabela 2, conforme especificação do fabricante.

Tabela 2. Especificações técnicas da argamassa de rejuntamento (Fonte: Do Fabricante)

Tipo de Rejunte	Retenção de água (mm)	Absorção de água por capilaridade (g cm ⁻²)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à flexão (MPa)
Tipo II	≤ 65	≤ 0,3	≥ 10	≥ 3

Para compor o sistema de revestimento cerâmico, adotou-se quatro tipologias diferentes de placas cerâmicas. Para melhor compreensão e visualização do estudo, adotou-se uma nomenclatura para cada tipologia de placa cerâmica. A título de exemplo, a placa porcelanato técnico é nomeada como PPT (Placa Porcelanato Técnico), e assim sucessivamente para o restante das placas. As propriedades, tais como percentual de absorção de água, carga de ruptura e módulo de resistência à flexão, são regularmente monitoradas pelo controle de qualidade do

fabricante das placas cerâmicas em análise e foram fornecidas para a presente pesquisa. A Tabela 3 apresenta as características e propriedades das placas cerâmicas, bem como as nomenclaturas adotadas para cada tipologia.

Tabela 3. Placas Cerâmicas do Estudo (Fonte: Do fabricante)

Nomenclatura	PPT	PPTN	PPE	PSG
Categoria	Placa porcelanato técnico	Placa porcelanato técnico natural	Placa porcelanato esmaltado	Placa semi-grês
Dimensões (cm)	50 x 50	60 x 60	60 x 60	45 x 45
Espessura (mm)	11	9,5	9,5	6,5
Absorção de água (%)	0,07	0,05	0,30	5,5
Grupo de absorção de água	BIa	BIa	BIa	BIIa
Carga de ruptura (Kgf)	390,0	239,2	219,0	61,3
Resistência à flexão (MPa)	50	45	45	31

Para este estudo, foram executados protótipos de sistema de piso, nos quais as quatro tipologias de placas cerâmicas foram assentadas. Na Figura 2 é apresentado o sistema de piso, sendo que, a Figura 2 (a) apresenta o protótipo do sistema e a Figura 2 (b) apresenta a execução das lajes.

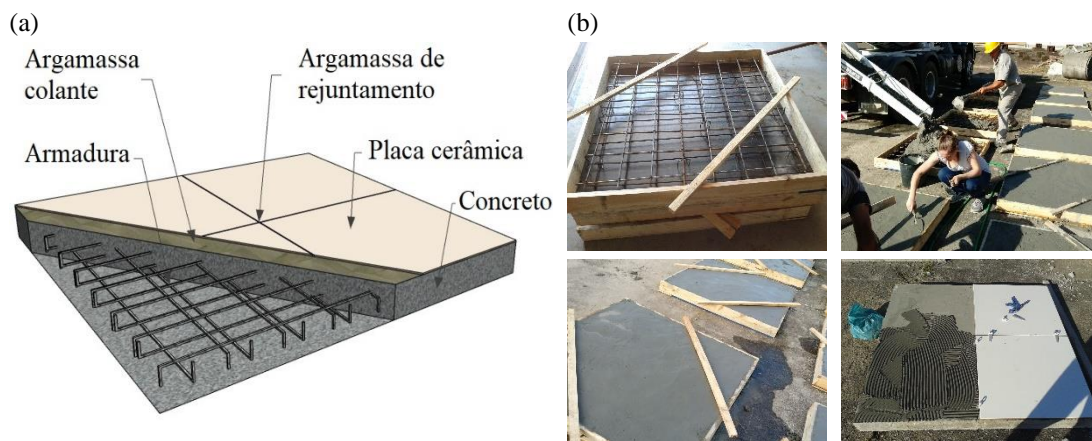


Figura 2. Sistema de piso: (a) protótipo, (b) execução das lajes

As placas cerâmicas foram assentadas sobre as lajes conforme especificado pela NBR 13735:1996, para placas cerâmicas com área superficial maior ou igual a 900 cm², por meio de colagem dupla, com utilização de desempenadeira dentada 8 x 8 x 8 mm. Para cada tipologia de placa cerâmica, produziu-se 3 amostras, totalizando 12 protótipos de sistema de piso. Na Tabela 4, são apresentadas as nomenclaturas das lajes para facilitar a identificação.

Tabela 4. Nomenclatura das lajes

Placas cerâmicas assentadas	Lajes	Nomenclatura
PPT	Laje com placa porcelanato técnico	L-PPT
PPTN	Laje com placa porcelanato técnico natural	L-PPTN
PPE	Laje com placa porcelanato esmaltado	L-PPE
PSG	Laje com placa semi-grês	L-PSG

O ensaio de compressão das lajes foi realizado no Laboratório Experimental de Estruturas – LEE da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), localizado no IParque – Parque Científico e Tecnológico. Utilizou-se para execução do ensaio um cilindro hidráulico com capacidade de carga de 50 tf da marca ENERPAC, um aplicador de carga metálico de dimensões 18 x 10 x 96,5 cm e o software Catman Easy para coleta de dados. Os protótipos foram apoiados diretamente sobre a superfície do piso do laboratório e submetidos a uma carga vertical concentrada, aplicada de cima para baixo, de forma a comprimir o sistema, por meio do aplicador de carga, em pontos das amostras considerados mais suscetíveis a ocorrência de danos. O momento de cessão de aplicação de carga sobre os sistemas, durante os ensaios, foi determinado pelo surgimento de fissuração visível da superfície da placa cerâmica. A Figura 3, ilustra o procedimento do ensaio de compressão das amostras, onde a Figura 3 (a) apresenta a aplicação de carga no centro do sistema, a Figura 3 (b) a aplicação de carga próximo a extremidade da placa cerâmica e a Figura 3 (c) a aplicação no centro da placa cerâmica.

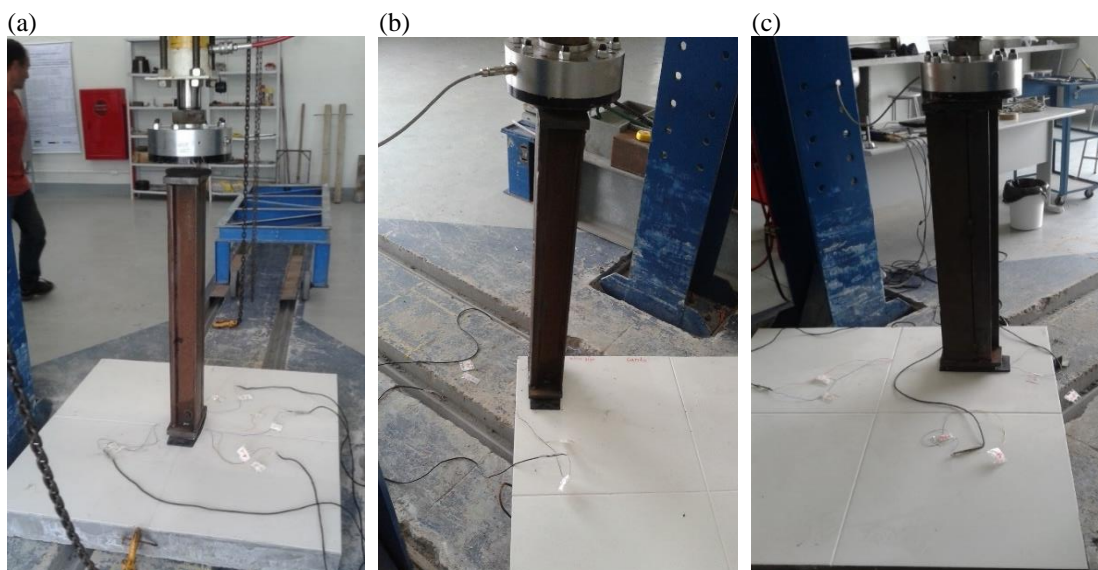


Figura 3. Ensaio de compressão das lajes: (a) aplicação de carga no centro do sistema, (b) aplicação de carga próximo a extremidade da placa cerâmica, (c) aplicação de carga no centro da placa cerâmica

A aplicação de cargas nos sistemas foi realizada em 3 pontos, conforme apresenta a Figura 3. O primeiro ponto foi locado no centro do sistema, sendo assim, o aplicador de carga teve contato com as extremidades das 4 placas cerâmicas. O segundo ponto foi próximo a

extremidade de uma placa cerâmica, com o aplicador posicionado a 5 cm das bordas da peça. O terceiro e último ponto, foi o centro de uma placa cerâmica. A Figura 4, apresenta os pontos de aplicação da carga no tardo das placas cerâmicas, local onde foram colados os Strain Gauges. A Figura 4 (a) apresenta o aplicador no centro do sistema e, portanto, na extremidade de 4 placas cerâmicas, a Figura 4 (b) apresenta o posicionamento do aplicador próximo a extremidade de uma placa cerâmica e a Figura 4 (c) o posicionamento do aplicador no centro da placa cerâmica.

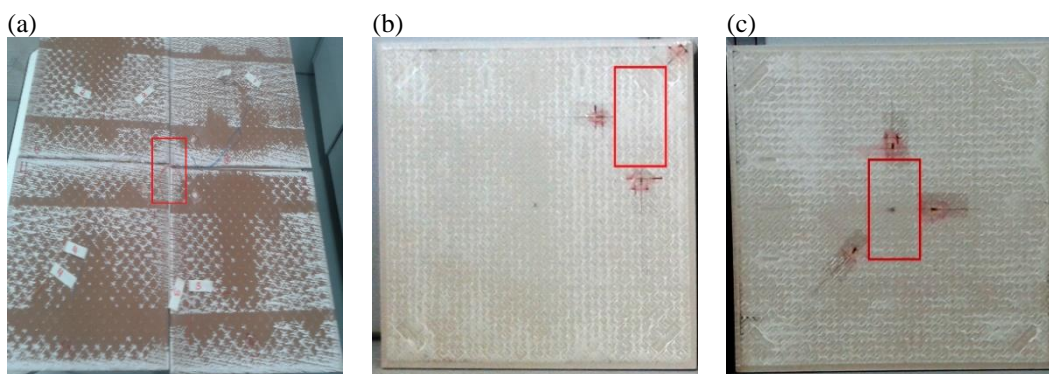


Figura 4. Posicionamento do aplicador de carga nos sistemas: (a) aplicador em extremidades de 4 placas cerâmicas, (b) aplicador próximo a extremidade de uma placa cerâmica, (c) aplicador no centro de uma placa cerâmica

As deformações dos sistemas foram verificadas por meio de extensômetros mecânicos, Strain Gauge, fixados nos tardo das placas cerâmicas. A instrumentação das placas fez-se a partir da área de contato (18 x 10 cm) do aplicador de carga.

Foram adotadas três diferentes formas de posicionamentos dos Strain Gauges. Na primeira posição (Posição 1), a carga foi aplicada sobre as extremidades de quatro placas cerâmicas, onde foram fixados os Strain Gauges, A, B, C e D, a 2 cm da área de aplicação da carga, na direção tangente a 45° das arestas de cada placa cerâmica. A segunda posição (Posição 2) teve aplicação de carga em uma única placa cerâmica, com a área de aplicação da carga distanciada 5 cm das arestas da placa nos sentidos vertical e horizontal. Nesta placa foram posicionados 3 Strain Gauges, A-45°, B-H e C-V, sendo este primeiro fixado na direção tangente a 45° das arestas da placa e a 2 cm da aplicação da carga. O segundo (B-H), foi alinhado ao centro da área de aplicação da carga, na direção horizontal, a 2 cm da mesma. O Strain Gauge C-V, localiza-se centralizado com área de aplicação da carga na direção vertical e distanciada a 2 cm. No terceiro posicionamento (Posição 3), os Strain Gauges tiveram a mesma disposição da posição 2 sendo divergente apenas no ponto de aplicação da carga, que teve seu centro alinhado com o centro da placa cerâmica. A Figura 5 apresenta a instrumentação dos sistemas,

onde a Figura 5 (a) apresenta a L-PPT, a Figura 5 (b) L-PPTN, a Figura 5 (c) L-PPE e a Figura 5 (d) L-PSG.

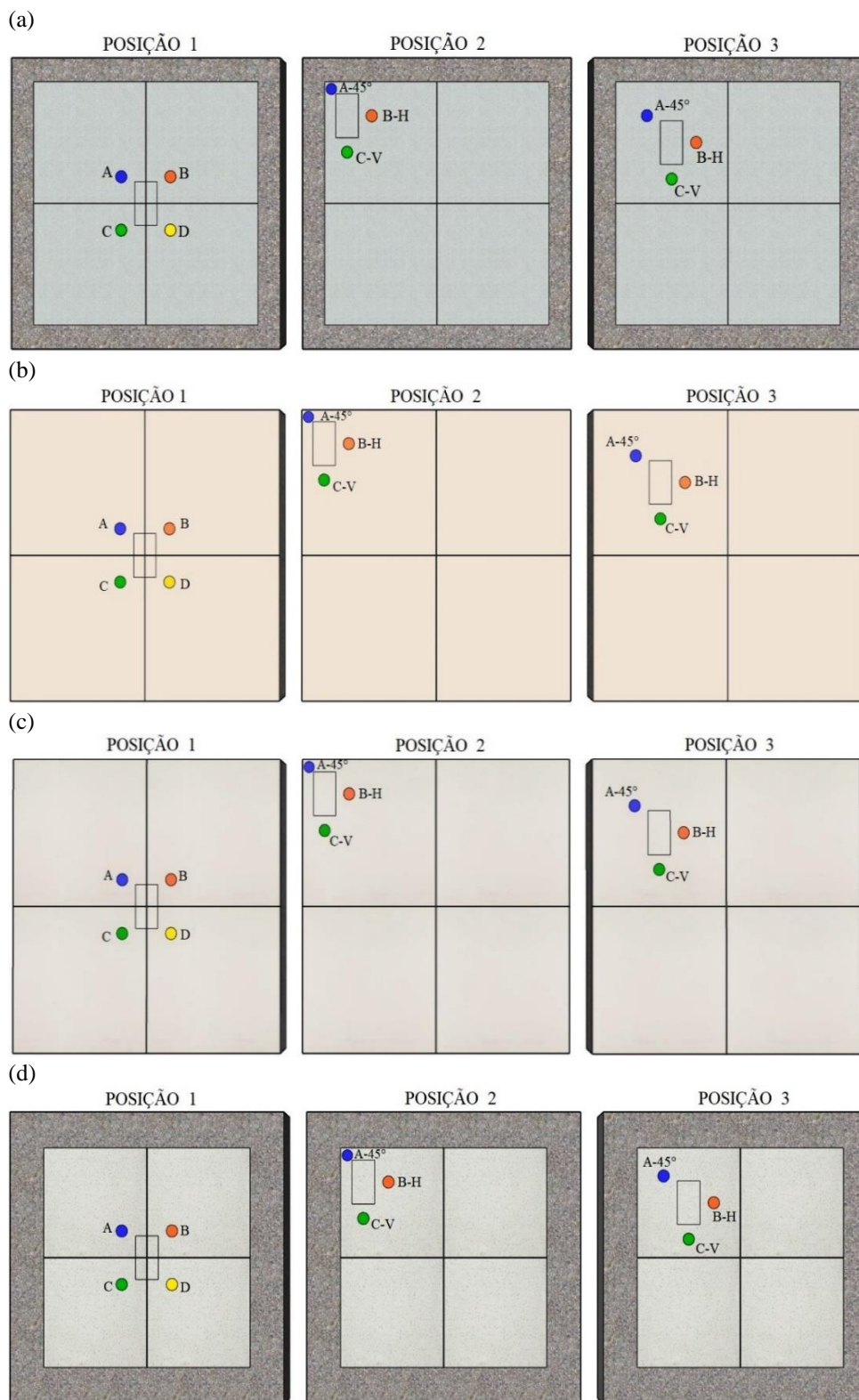


Figura 5. Posicionamento dos Strain Gauges: (a) L-PPT, (b) L-PPTN, (c) L-PPE, (d) L-PSG

Devido ao fato de ser a primeira laje a ser ensaiada e a movimentação estar em fase de aprendizagem, não foi possível posicionar a laje com a placa cerâmica da categoria porcelanato técnico (L-PPT) na Posição 3. A laje foi posicionada em um outro ponto de forma que provocou o rompimento de um extensômetro, impossibilitando a leitura. Nessas condições, a L-PPT na Posição 3, teve seus resultados excluídos do estudo.

Resultados e discussões

O resultado obtido no ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump test*) apresentou um abatimento médio de 12 ± 1 cm. Os ensaios de resistência à compressão axial dos corpos de prova indicaram a resistência do concreto no mesmo dia em que as cargas verticais foram aplicadas nas lajes. Por apresentar um resultado com valor de resistência com desvio relativamente abaixo dos demais, um dos corpos de prova foi desconsiderado na análise do controle tecnológico do concreto. Para tal, foi utilizando o método estatístico de constatação de *outlier* baseado na amplitude interquartil. Uma possível causa para esse desvio, deve-se ao fato de que o corpo de prova foi curado em uma superfície com desnível. A Tabela 5 apresenta os valores da resistência do concreto e a carga máxima obtidas nos ensaios.

Tabela 5. Resistência do concreto

Amostra	Carga Máxima (tf)	Resistência a compressão axial (MPa)	Amostra	Carga Máxima (tf)	Resistência a compressão axial (MPa)
CP 1	47,49	60,50	CP 8	43,29	55,10
CP 2	44,36	56,50	CP 9	49,53	63,10
CP 3	47,62	60,60	CP 10	50,16	63,90
CP 4	46,36	59,00	CP 11	41,16	52,40
CP 5	45,06	57,40	Média	46,36	59,03
CP 6	50,74	64,60	Desvio padrão	3,06	3,90
CP 7	44,17	56,20			

Observa-se que o concreto apresentou uma resistência superior a resistência solicitada à empresa fornecedora. Mediante os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova de concreto, indica-se que o concreto contido nas lajes também apresentou tal resistência.

As cargas de ruptura dos sistemas foram reportadas através do estudo das deformações do revestimento cerâmico. Com base na análise dos gráficos que apresentam as curvas de deformação em função da carga dos sistemas, é possível observar pontos onde apresentam-se deformações acentuadas, ou seja, pontos que apresentam uma perda de linearidade da curva.

Essa condição é justificada pelo fato de que os materiais cerâmicos possuem pouca ou nenhuma deformação plástica, o que pode caracterizar uma ruptura frágil da placa cerâmica, uma vez que, essa também é considerada um material frágil, cuja definição é baseada na ruptura sem aviso prévio (ZANOTTO; MIGLIORE JR., 1991). A partir desse princípio, assumiu-se que o revestimento cerâmico teve seu colapso no instante da perda de linearidade da curva de deformação em função da carga aplicada, indicando, assim, a carga de ruptura do sistema.

Na Figura 6, estão ilustrados os gráficos que apresentam a deformação do sistema L-PPT, a medida em que as cargas verticais foram aplicadas, onde, a Figura 6 (a) apresenta a Posição 1 e a Figura 6 (b) apresenta a Posição 2.

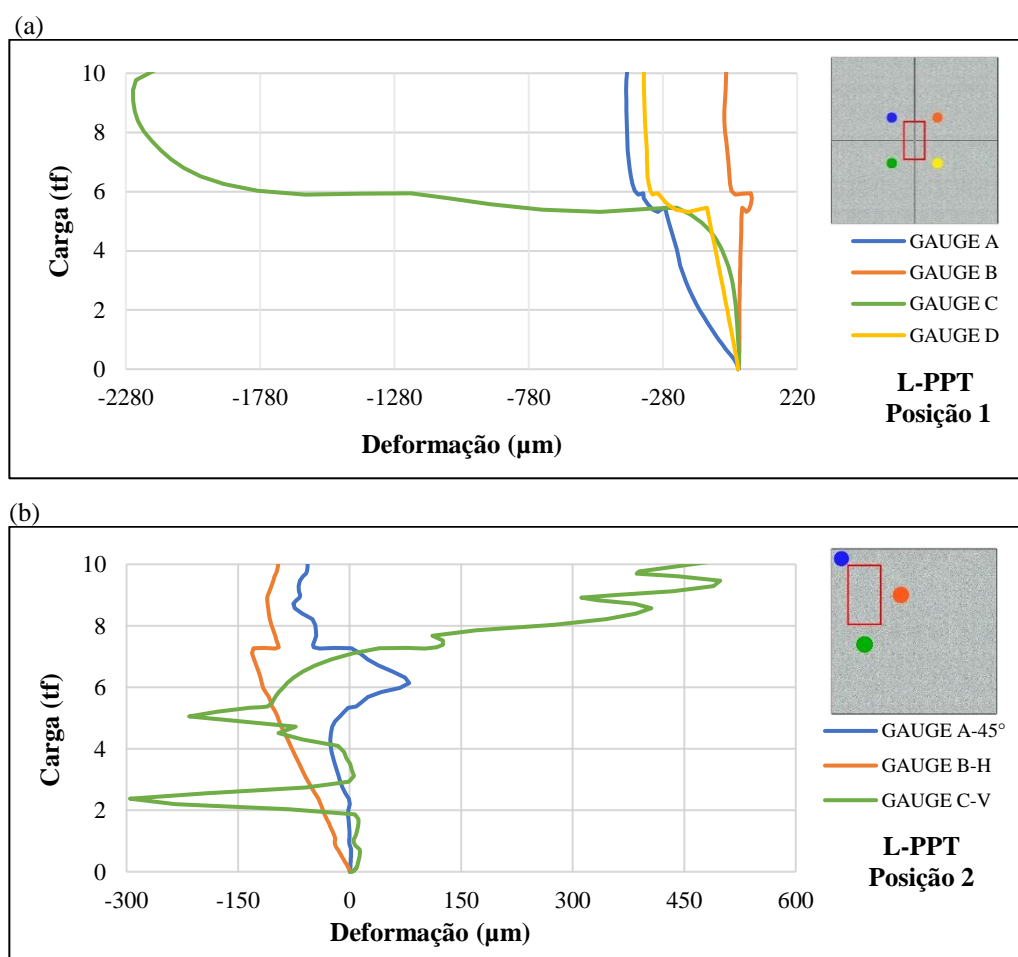


Figura 6. Gráficos carga *versus* deformação da L-PPT: (a) posição 1, (b) posição 2

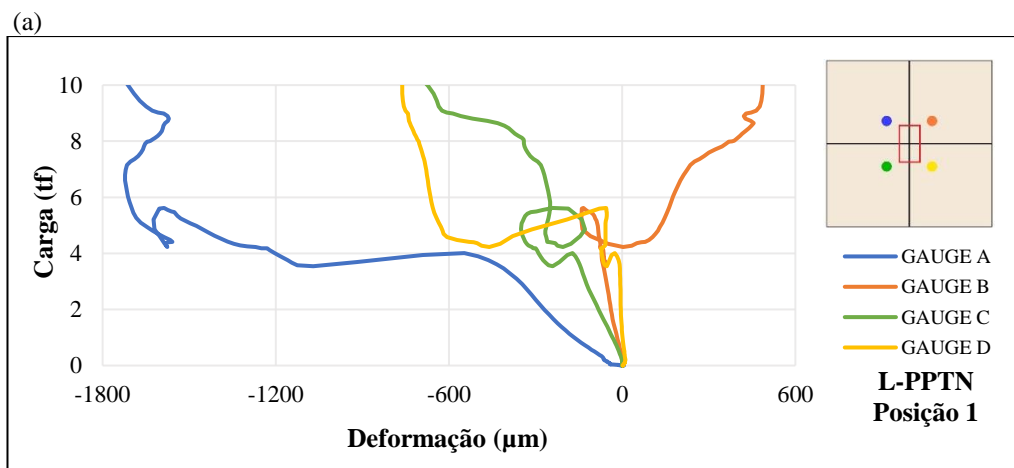
Através dos gráficos, é possível observar que na Posição 1, as curvas de carga *versus* deformações, captadas pelos extensômetros, apresentam uma descontinuidade em conjunto próximo à carga de 6 tf, valor este adotado, portanto, como carga de ruptura.

Na Posição 2, as deformações lidas não apresentaram comportamentos semelhantes entre si, como também não mantiveram analogia com a Posição 1, uma vez que, o Strain Gauge C-V, leu um pico de deformação em torno de 2 tf. Essa condição fundamenta-se no pressuposto de que existiam pontos de fraqueza da placa cerâmica na parte inferior do aplicador de carga, onde o Strain Gauge C-V encontrava-se posicionado, ocasionando assim, ruptura local. Com base nas informações de Sesma (2014) e Fujita et al. (2006), os materiais cerâmicos apresentam falhas na sua microestrutura, denominadas microtrincas, que quando submetidas a esforços externos, agem como elementos concentradores de tensões. Como o corpo cerâmico não possui capacidade de distribuir tensões através de deformação plástica, a tensão local na região da microtrinca aumenta até atingir a resistência máxima, causando a ruptura do corpo.

Por este motivo, para a Posição 2, desconsiderou-se a leitura do Strain Gauge C-V e adotou-se como carga de ruptura do sistema o ponto onde os Strain Gauges A-45° e B-H apresentaram uma amplitude de deformação em conjunto. Com isso, a carga de ruptura de L-PPT na Posição 2 foi de aproximadamente 6 tf.

Nas três posições de instrumentação do sistema L-PPTN, todas as curvas de carga *versus* deformações, lidas nos extensômetros, expressaram perda de integridade, ou seja, uma amplitude nas curvas. Esse comportamento é perceptível não só para as curvas, mas também para os pontos nos quais deformações consideráveis se situaram, indicando uma carga de ruptura em torno de 5 tf.

Os gráficos de carga *versus* deformações do sistema L-PPTN, estão apresentados na Figura 7, sendo que na Figura 7 (a) apresenta-se a Posição 1, na Figura 7 (b) a Posição 2 e na Figura 7 (c) a Posição 3.



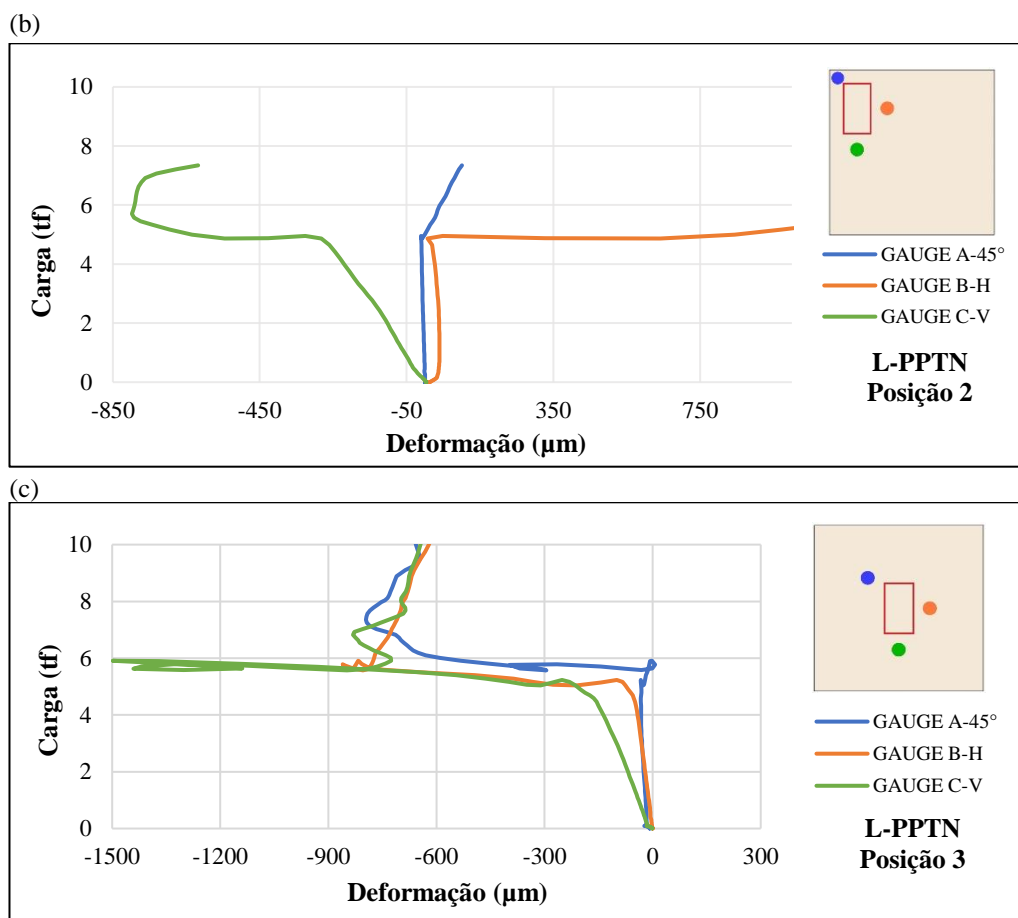
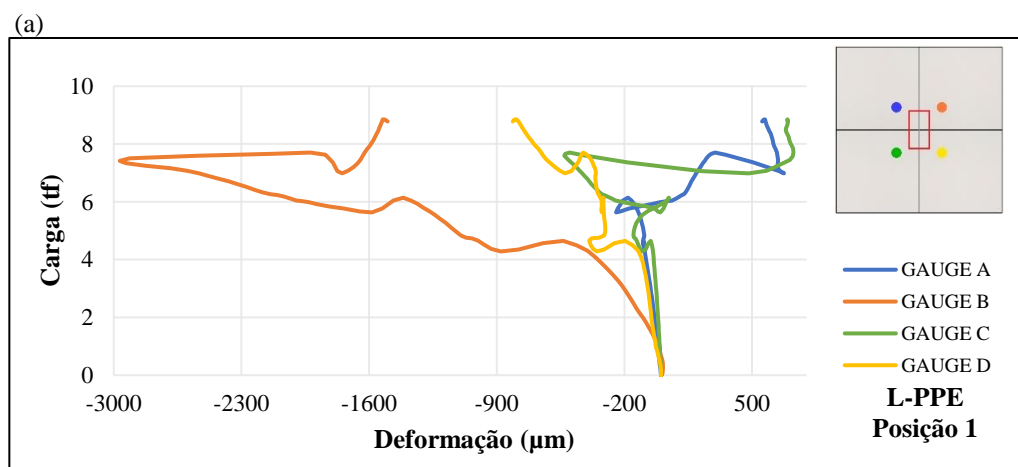


Figura 7. Gráficos carga *versus* deformação da L-PPTN: (a) Posição 1, (b) Posição 2, (c) Posição 3

No sistema L-PPE, as deformações assumiram comportamento análogo as deformações do sistema L-PPTN, porém com cargas ligeiramente desiguais para cada posição de instrumentação.

A Figura 8, apresenta os gráficos de carga *versus* deformação para o sistema L-PPE, sendo a Figura 8 (a) a Posição 1, a Figura 8 (b) a Posição 2 e Figura 8 (c) a Posição 3.



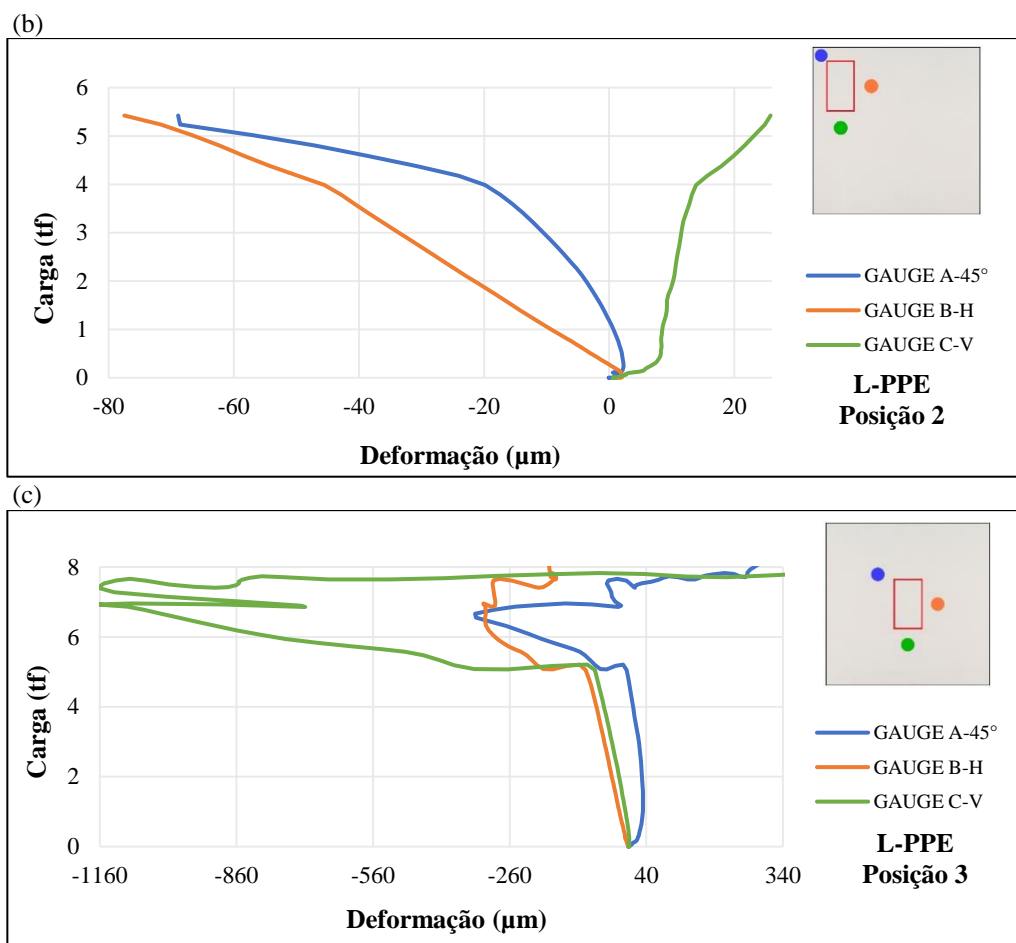
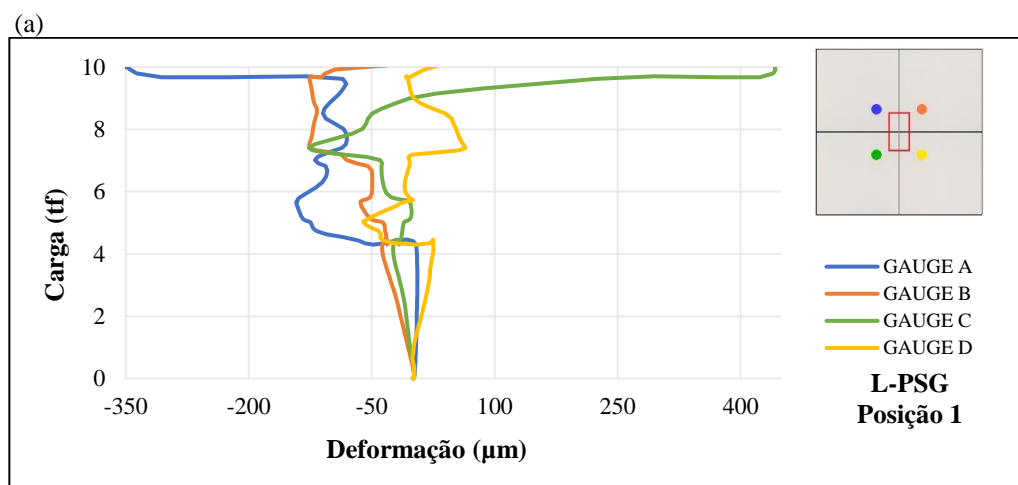


Figura 8. Gráficos carga *versus* deformação da L-PPE: (a) Posição 1, (b) Posição 2, (c) Posição 3

Na Figura 9, estão dispostos. os gráficos expressando as deformações para o sistema L-PSG, para a qual, a Figura 9 (a) apresenta a Posição 1, a Figura 9 (b) a Posição 2 e a Figura 9 (c) a Posição 3.



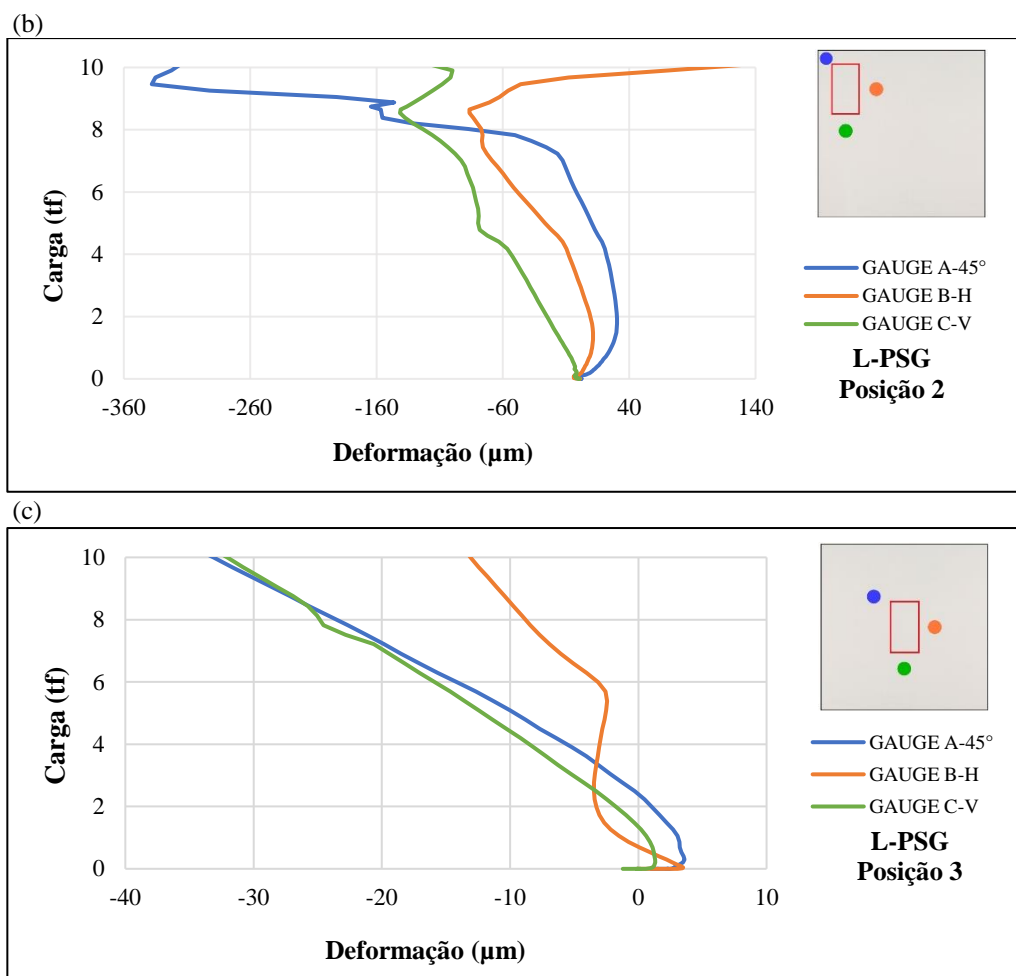


Figura 9. Gráficos carga *versus* deformação da L-PSG: (a) Posição 1, (b) Posição 2, (c) Posição 3

O sistema L-PSG foi composto por placas cerâmicas caracterizadas como pertencentes ao grupo de absorção de água BIIa e essa condição sugere que essas placas tenham uma resistência menor que as placas cerâmicas com menos poros como os porcelanatos. Os poros atuam negativamente sobre a resistência à fratura dos corpos cerâmicos, visto que, uma parcela considerável de fraturas, têm sua origem em trincas superficiais que, inúmeras vezes, são efetivamente poros (FONSECA et al., 2016).

Após a retirada do aplicador de carga, durante os ensaios de compressão das amostras de L-PSG, pôde-se observar que a região abaixo da área do aplicador sofreu deformações com aspecto de esmagamento e, com base nesse contexto, conceituou-se que o sistema apresentou uma ruptura local. Segundo Sandoval e Ibañez (2000), os poros atuam como pontos de concentração de tensão, acentuando a fratura causada pelas cargas aplicadas, uma vez que favorecem a formação de fissuras que levam a ruptura.

Considerando que houve ruptura local, a metodologia de análise das deformações do sistema L-PSG divergiu da metodologia adotada nos demais sistemas.

Para os sistemas compostos com placas cerâmicas de menor absorção de água, classificadas como porcelanatos, comparado as demais placas utilizadas, a análise das deformações considerou como carga de ruptura o ponto em que todas as curvas de carga *versus* deformação, lidas em cada um dos extensômetros, apresentava perda de linearidade, isto é, o ponto em que todas as curvas apresentavam picos de amplitude.

No sistema composto pelas placas cerâmicas com maior absorção de água (L-PSG), comparadas as demais, a carga de ruptura foi assumida através da leitura da primeira amplitude na deformação, no ponto onde nota-se a perda de linearidade da curva carga *versus* deformação, prevendo nesse ponto a ruptura local do sistema.

Em virtude dessas análises, foi possível determinar a carga de ruptura dos sistemas, as quais estão apresentadas no gráfico da Figura 10, ordenadas pelas posições de instrumentação.

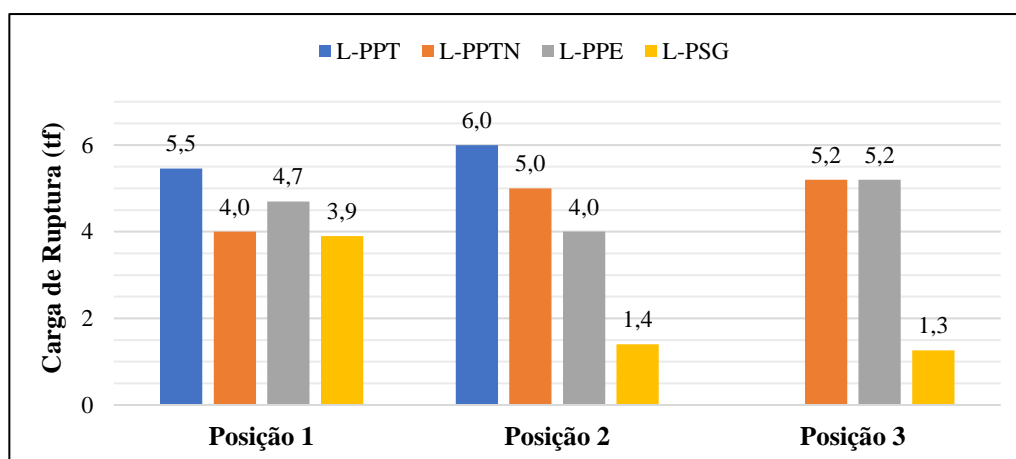


Figura 10. Carga de ruptura dos sistemas

A partir das cargas de ruptura classificadas, nota-se, que nas três posições, as lajes de cada sistema obtiveram valores de cargas aproximados, como exemplo, L-PPTN, que apresentou carga de ruptura de 4, 5 e 5,2 tf nas Posições 1, 2 e 3, respectivamente. Sendo assim, indica-se que a posição de aplicação das cargas nos sistemas não tem influência significativa sobre as cargas de ruptura.

Nos sistemas L-PPT, L-PPTN e L-PEE, as cargas mantiveram certa homogeneidade nas Posições 1, 2 e 3. O sistema L-PSG, apresenta um desvio dos valores da Posição 1 em relação as Posições 2 e 3. Por tratar-se de uma placa cerâmica mais propensa a apresentar erros nos resultados, devido a sua capacidade de apresentar ruptura local antes mesmo de um

extensômetro captar uma deformação, a carga de ruptura foi dimensionada pelas Posições 2 e 3.

Ao confrontar as cargas de ruptura de cada sistema, é notório que os sistemas constituídos de placas cerâmicas com menor absorção de água, em geral, se apresentam com maior carga de ruptura. Efetuando uma média de cargas de ruptura dos sistemas obtidas nas três posições de instrumentação e fazendo uma analogia entre essas cargas e o módulo de resistência a flexão, temos que, de fato, as placas com módulo de resistência maior se mostraram com maior carga de ruptura. Da mesma maneira, as cargas de ruptura dos sistemas também seguiram na proporção da carga de ruptura da placa cerâmica em si. A aderência ao substrato, por meio da argamassa colante, aumentou demasiadamente a capacidade de suporte de cargas das placas cerâmicas.

A Tabela 6, apresenta a carga de ruptura média de cada sistema, os valores de módulo de resistência à flexão e carga de ruptura das placas cerâmicas que os constitui.

Tabela 6. Comparativo entre sistema e placa cerâmica

Sistemas	Carga de ruptura média do sistema (tf)	Carga de ruptura das placas cerâmicas (tf)	Carga de ruptura das placas cerâmicas (N)	Módulo de resistência à flexão (MPa)
L-PPT	5,8	0,39	3900	50
L-PPTN	4,8	0,24	2392	45
L-PPE	4,6	0,22	2190	45
L-PSG	1,4	0,06	613	31

O gráfico apresentado na Figura 11, demonstra uma correlação entre a carga de ruptura do sistema e o módulo de resistência à flexão da placa cerâmica, bem como a carga de ruptura da placa cerâmica e seu módulo de resistência à flexão, em eixos verticais distintos. As equações de correlação são válidas para o módulo de resistência à flexão variando de 31 a 50 MPa.

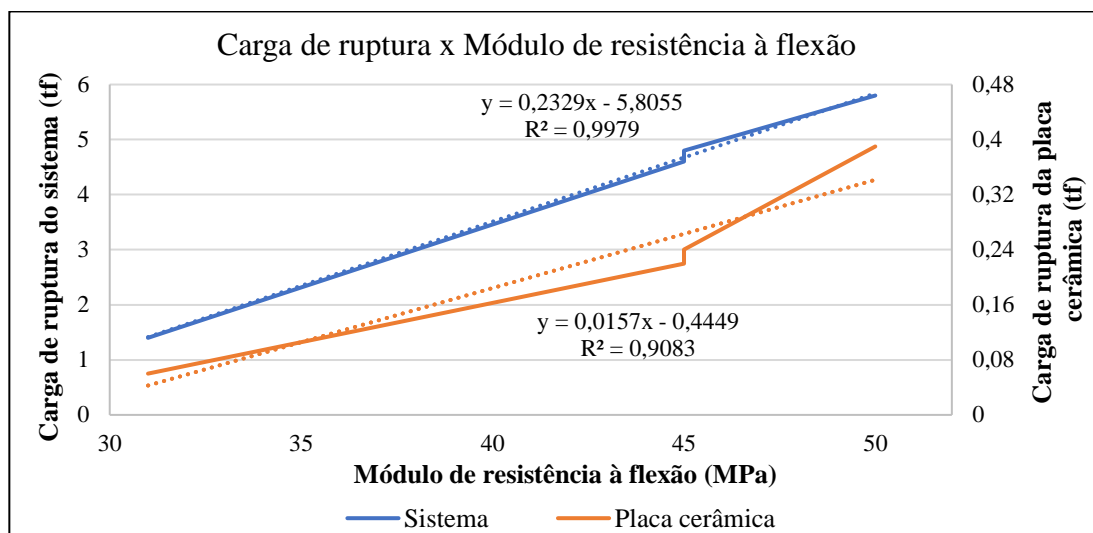


Figura 11. Gráfico de correlação entre a carga de ruptura *versus* módulo de resistência à flexão das placas cerâmicas

Na Figura 12, o gráfico apresenta uma correlação entre a carga de ruptura do sistema e a carga de ruptura da placa cerâmica.

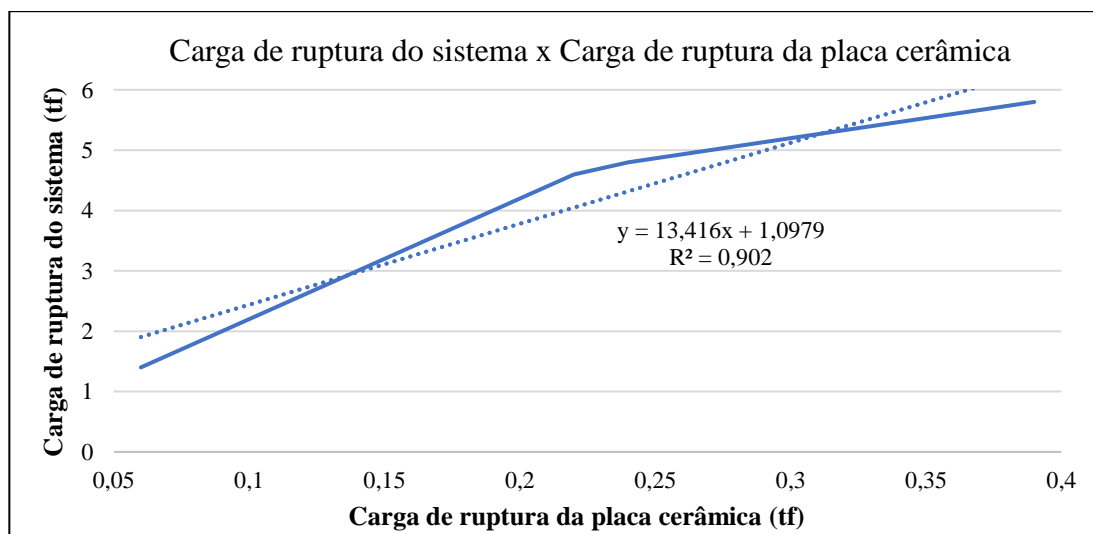


Figura 12. Gráfico de correlação entre a carga de ruptura do sistema *versus* carga de ruptura da placa cerâmica

Com base nas deformações lidas no momento da ruptura, observa-se que Strain Gauges apresentam esforços de natureza de tração e de compressão. Os esforços de tração são representados por uma deformação positiva do extensômetro, que significa que esse sofre um alongamento do seu comprimento. As leituras de deformação com sinal negativo correspondem a compressão do extensômetro, ou seja, a redução do seu comprimento. É possível observar que as deformações não seguem uma linearidade nas respostas, de compressão ou tração, as cargas aplicadas nas lajes. Essa desuniformidade pode ser explicada, novamente, ao fato de a

placa cerâmica não possuir capacidade de distribuir tensões e, por conseguinte, a tensão local, o módulo da deformação e o tipo de esforço mecânico tornam-se distintos entre os pontos de uma mesma placa cerâmica. A Tabela 7 apresenta as amplitudes de deformação obtidas no momento da ruptura nas três diferentes posições de instrumentação dos sistemas estudados.

Tabela 7. Amplitudes de deformação no momento da ruptura das lajes

Sistemas	Posição	Extensômetros deformação máxima / deformação mínima	Amplitude de deformação (μm)	Carga de ruptura (tf)
PPT	1	A / B	-270 / 22	5,5
	2	C / A	-113 / 80	6,0
PTTN	1	A / D	-547 / -26	4,0
	2	C / B	-326 / 8	5,0
	3	C / A	-250 / -33	5,2
PPE	1	B / C	-535 / -55	4,7
	2	B / C	-46 / 14	4,0
	3	B / A	-107 / -11	5,2
PSG	1	B / D	-36 / 25	3,9
	2	A / C	29 / -16	1,4
	3	A / B	3 / -2	1,3

Conclusões

- ✓ O posicionamento das cargas verticais não apresenta influência sobre a carga de ruptura. A aplicação de carga nas extremidades das placas cerâmicas teve uma carga de ruptura meramente menor em relação ao centro da placa;
- ✓ As placas cerâmicas com menor absorção de água, manifestam maior resistência a ruptura;
- ✓ O sistema de piso como um todo, manifestou uma relação de proporcionalidade com o módulo de resistência à flexão da placa cerâmica. Quanto maior o valor do módulo de resistência da placa, maior o valor da carga de ruptura do sistema;
- ✓ A aderência das placas cerâmicas ao piso, intensificou a capacidade de carga das mesmas.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738:** Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 13753:** Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 14081-1** – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 14992:** Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas: requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 67:** Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. **A indústria brasileira de cerâmica para revestimento.** São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/brasil>>. Acesso em: 14 mar. 2018.

_____. **Perfil da Produção.** São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/produto>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

_____. **A economia do futuro é sustentável.** São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/single-post/2016/08/04/Sustentabilidade-Cerâmica-para-Revestimento>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

CACCIA, Camila Schmitt. **Placas cerâmicas para revestimento:** planilha eletrônica para auxílio na especificação. 2012. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

COSTA, Pedro Laranja D'araujo. **Patologias do processo executivo de revestimentos de fachada de edifícios.** 2013. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FARIA, José Antônio Miranda Ferreira Gonçalves. **Controle da qualidade de revestimentos de piso.** 2018. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto.

FIORITO, Antonio J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos:** estudos e procedimentos de execução. 2.ed. São Paulo: PINI, 2009.

FONSECA, M. H. de F. et al. Estudo da influência da porosidade em materiais cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22., 2016, Natal. **Anais...** Natal: Universidade Federal do Ceará, 2016. p. 1341-1352.

FUJITA, H. et al. Contribuição ao estudo da retificação abrasiva de materiais cerâmicos. **Cerâmica**, São Paulo, v. 52, n. 324, p. 269-275, dez. 2006.

GONÇALVES, Nuno Eduardo Santos. **Influência da deformação de lajes fungiformes no comportamento de revestimentos cerâmicos de piso**. 2012. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto.

MARTINS, Albano Joaquim Gomes. **Estudo da durabilidade dos revestimentos de piso**. 2012. 415 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto.

REBELO, Carlos da Rocha. **Projeto e execução de revestimento cerâmico – interno**. 2010. 55 f. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RHOD, Alexandra Barcelos. **Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos: análise da frequência de ocorrência em áreas internas de edifícios em uso em porto alegre**. 2011. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANDOVAL, F.; IBÁÑEZ, A. Discusión sobre la influencia de la porosidad en la resistencia mecánica de las baldosas cerámicas. **Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio**, Arganda del Rey (Madrid), v. 39, n. 2, p.255-258, abr. 2000.

SESMA, Natália Maia. **Estudo das propriedades de uma cerâmica vermelha sinterizada em diferentes temperaturas**. 2014. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) -Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena.

SILVA, Marinilda Nunes Pereira da et al. REVESTIMENTOS CERÂMICOS E SUAS APLICABILIDADES. **Caderno de Graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Alagoas, v. 2, n. 3, p.87-97, maio 2015. Disponível em: <periodicos.set.edu.br>. Acesso em: 15 jun. 2018.

SILVESTRE, J.d.; BRITO, J. de. Ceramic tiling in building façades: Inspection and pathological characterization using an expert system. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 25, n. 4, p.1560-1571, abr. 2011.

TERJÉK, Anita; JÓZSA, Zsuzsanna. Analysis of Surface Properties Determining Slip Resistance of Ceramic Tiles. **Periodica Polytechnica Civil Engineering**, v. 59, n. 3, p. 393-404, 2015.

UCHÔA, João Carlos Barleta et al. Análise de tensões internas em sistemas de revestimentos cerâmicos de fachadas no distrito federal devido a carregamentos térmicos utilizando modelagem MEF 3D. In: Iberian Latin American Congress On Computational Methods In Engineering, 37., 2016, Brasília. **Anais...** Brasília: ABMEC, 2016.

VAZ, Edgar D. J. **Aplicação de revestimentos cerâmicos aderentes**. 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Técnico Lisboa, Lisboa, 2013.

ZANOTTO, Edgar Dutra; MIGLIORE JR, Angelo Rubens. Propriedades mecânicas de materiais cerâmicos: uma introdução. **Cerâmica**, v. 37, n. 247, p.7 -16, jan./fev. 1991.